

SKRIPSI

**ANALISIS KANDUNGAN UNSUR LOGAM MENGGUNAKAN
X-RAY FLUORESCENCE (XRF) SEBAGAI PENENTU KUAT
TARIK BAJA TULANGAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**ILHAM PATURUSI
D011 20 1132**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KANDUNGAN UNSUR LOGAM MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE (XRF) SEBAGAI PENENTU KUAT TARIK BAJA TULANGAN

Disusun dan diajukan oleh

Ilham Paturusi
D011201132

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 11 September 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng

NIP: 196805292002121002

Menyetujui,
Dosen Pembimbing,



Dr. Eng. Fakhruddin, S.T. M. Eng.

NIP: 19870228 201913 1 005



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Ilham Paturusi

NIM : D011201132

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Analisis Kandungan Unsur Logam Menggunakan X-Ray Fluoresence (XRF)
Sebagai Penentu Kuat Tarik Baja Tulangan}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 2 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Ilham Paturusi



KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS KANDUNGAN UNSUR LOGAM MENGGUNAKAN *X-RAY FLUORESENCE* (XRF) SEBAGAI PENENTU KUAT TARIK BAJA TULANGAN” sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bimbingan, dorongan, dan bantuan baik materi maupun non materi dari berbagai pihak sehingga penelitian yang telah direncanakan dapat terealisasi dengan baik dan dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Oleh karena itu, perkenankanlah penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.** dan **Dr. Eng. Bambang Bakri, ST, MT.**, selaku ketua dan sekretaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Eng. Fakhruddin, ST, M.Eng.**, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.eng.**, dan **Ibu Prof. Dr. Eng. Rita Irmawaty, ST., MT.**, selaku dosen Laboratorium Riset Rekayasa Perkuatan Struktur yang telah memberikan ilmu dan motivasi untuk penulis.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kepada kedua orang tua saya yang tercinta, ayahanda **Endang Mulyana** dan ibunda **Jusmi**, kata-kata tak akan pernah cukup untuk mengungkapkan rasa terima kasih dan cinta yang mendalam. Dari kecil hingga dewasa, kalian telah menjadi pilar yang kokoh, menyinari setiap langkah saya dengan kasih sayang, semangat, dan teladan. Meskipun ayahanda telah tiada, semangatnya tetap menginspirasi saya setiap hari. Ibu, dengan doa-doa dan kelembutanmu, engkaulah yang selalu membuat saya percaya pada diri sendiri. Skripsi ini adalah bukti kehormatan dan penghargaan atas segala pengorbanan dan cinta yang telah kalian berikan. Terima kasih, dari lubuk hati yang paling dalam.
2. Kepada saudara-saudara saya yang tercinta, **Ayatul Husna, Aryani, dan Aira Afika**, terima kasih atas kepercayaan yang telah kalian berikan terhadap mimpi-mimpi saya. Dukungan dan keyakinan kalian telah menjadi pendorong utama dalam perjalanan hidup dan pencapaian saya. Skripsi ini saya persembahkan sebagai ungkapan terima kasih atas segala kepercayaan dan kesetiaan kalian, serta sebagai komitmen saya untuk terus menggapai mimpi bersama.
3. Kepada tim riset penelitian, Ibu **Wa Ode Amala Rabia Malim, kak A. Adelia Marsella, kak Baik Asiani** dan sahabat serta partner seperjuangan saya selama penelitian ini dilaksanakan **Nurul Annisa Rahmawan**. Terimakasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah kalian berikan. Semoga kita selalu saling mendukung dan menginspirasi satu sama lain dalam setiap langkah ke depan.
4. Kepada sahabat-sahabat saya di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur, Herli, Sarjan, Zenal, Syawal, Marcel, Tasim, Dhafiyah, Raiza, Ica, Fadli, Amaliah** dan **Farhan**. Senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Kepada sahabat adu nazib, **Aswar, Andika, Nushrah, Kholis, Gamayo, Fany, Puput** dan **Afdhal**. Senantiasa kebersamai setiap langkah dan dukungan, terima kasih telah menjadi tempat berkeluh kesah dan penuntun a selama masa kuliah.



6. Kepada sahabat saya di Nusntara Infrastruktur Intern, **Amar, Dimas, Rahmad, Imin, Acuy, Hajid, Mus, Wayan, Zuhul, Bina, Arini, Manda, Dirgan** dan **Fira**. Terima kasih atas kenangan indah dan dukungan tanpa batasnya.
7. Saudara-saudari **ENTITAS 2021**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2020 yang senantiasa memberikan warna serta pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan.
8. **HMS FT-UH** dan **kanda-kanda senior** yang telah mewadahi dan banyak membantu penulis dalam kehidupan mahasiswanya.
9. Dan untuk seluruh orang yang turut membantu dan mendukung penulis dalam perjalanan menyelesaikan skripsi ini, meskipun tak bisa penulis sebutkan satu persatu namanya, terimakasih atas dukungan dan kontribusi tak terhingga yang telah diberikan. Semoga Allah membalas dengan kebaikan yang berlipat ganda.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayahnya-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 2024

Ilham Paturusi



ABSTRAK

ILHAM PATURUSI. *Analisis Kandungan Unsur Logam Menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) Sebagai Penentu Kuat Tarik Baja Tulangan* (dibimbing oleh Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan unsur logam dalam baja tulangan yang beredar dan digunakan dalam industri konstruksi lokal menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan pengujian kuat tarik menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai dengan standar ASTM E8. Penelitian ini sangat penting karena komposisi baja tulangan memiliki dampak langsung terhadap kekuatan dan keamanan struktur bangunan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel baja tulangan memiliki variasi kandungan unsur seperti magnesium (Mg), aluminium (Al), silikon (Si), dan mangan (Mn) dengan besi (Fe) sebagai unsur utama. Variasi ini dapat mempengaruhi sifat mekanik baja tulangan yang digunakan dalam konstruksi. Uji tarik menunjukkan bahwa sampel S-1 hingga S-4 memiliki tegangan leleh (f_y) dan kuat tarik (f_u) yang bervariasi, dengan nilai rata-rata tegangan leleh (f_y) sebesar 447 MPa dan kuat tarik (f_u) sebesar 619,5 MPa. Penentuan unsur karbon (C) sesuai standar ASTM A 611-97 berdasarkan kandungan mangan (Mn) dari pengujian XRF dan tegangan leleh (f_y) dari uji tarik. Hasil korelasi menunjukkan bahwa kandungan karbon dalam sampel berkisar antara 0,15% hingga 0,20%. Kandungan karbon (C) dalam baja tidak menunjukkan pengaruh yang konsisten terhadap tegangan luluh (f_y) dan tegangan tarik maksimum (f_u). Hal ini menunjukkan bahwa sifat mekanik baja lebih dipengaruhi oleh kombinasi elemen-elemen lainnya serta kondisi proses pembuatan baja, bukan hanya oleh kandungan karbon saja. Dalam konteks industri konstruksi di Indonesia, pemahaman yang mendalam mengenai komposisi dan sifat mekanik baja tulangan sangatlah krusial. Baja tulangan yang diproduksi secara lokal harus memenuhi standar kualitas untuk memastikan keamanan dan kekuatan struktur bangunan. Dengan menggunakan metode XRF, dapat diketahui kandungan unsur-unsur logam secara akurat, yang kemudian dikorelasikan dengan hasil uji kuat tarik menggunakan UTM. Kombinasi kedua metode ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai performa baja tulangan yang digunakan. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman sifat mekanik baja tulangan di Indonesia. Dengan hasil yang diperoleh, para pemangku kepentingan dalam industri konstruksi dapat membuat keputusan yang lebih baik dalam pemilihan dan penggunaan baja tulangan yang diproduksi secara lokal. Informasi mengenai variasi kandungan unsur logam dan sifat mekanik baja tulangan membantu dalam mengidentifikasi bahan yang tepat untuk digunakan dalam proyek konstruksi, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan keamanan struktur bangunan. Kesimpulannya, penelitian ini tidak hanya berperan penting dalam aspek teknis, tetapi juga memberikan nilai tambah dalam pengambilan keputusan strategis dalam industri konstruksi di Indonesia.



nci: Baja Tulangan, *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Universal Testing* (UTM)

ABSTRACT

ILHAM PATURUSI. *Analysis of Metal Element Content Using X-Ray Fluorescence (XRF) as a Determinant of Tensile Strength of Reinforcing Steel* (supervised by Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.)

This study aims to analyze the metal element content in reinforcing steel circulating and used in the local construction industry using X-Ray Fluorescence (XRF) and tensile testing using a Universal Testing Machine (UTM) according to ASTM E8 standards. This research is crucial because the composition of reinforcing steel has a direct impact on the strength and safety of building structures. The test results show that the samples of reinforcing steel have varying element content such as magnesium (Mg), aluminum (Al), silicon (Si), and manganese (Mn) with iron (Fe) as the main element. This variation can affect the mechanical properties of reinforcing steel used in construction. Tensile tests show that samples S-1 to S-4 have varying yield strength (f_y) and tensile strength (f_u), with an average yield strength (f_y) of 447 MPa and tensile strength (f_u) of 619.5 MPa. The determination of carbon (C) content is based on ASTM A 611-97 standards using the manganese (Mn) content from the XRF test and yield strength (f_y) from the tensile test. Correlation results indicate that the carbon content in the samples ranges from 0.15% to 0.20%. The carbon (C) content in steel does not show a consistent effect on yield strength (f_y) and maximum tensile strength (f_u). This indicates that the mechanical properties of steel are more influenced by a combination of other elements and the conditions of the steel manufacturing process, not just by carbon content alone. In the context of the construction industry in Indonesia, a deep understanding of the composition and mechanical properties of reinforcing steel is crucial. Locally produced reinforcing steel must meet quality standards to ensure the safety and strength of building structures. By using the XRF method, the metal element content can be accurately determined, which is then correlated with the tensile strength test results using UTM. The combination of these two methods provides a comprehensive picture of the performance of the reinforcing steel used. This study significantly contributes to understanding the mechanical properties of reinforcing steel in Indonesia. With the obtained results, stakeholders in the construction industry can make better decisions in selecting and using locally produced reinforcing steel. Information on the variation of metal element content and mechanical properties of reinforcing steel helps in identifying the right materials to be used in construction projects, thereby improving the quality and safety of building structures. In conclusion, this study not only plays an important role in technical aspects but also adds value in strategic decision-making in the construction industry in Indonesia.

Keywords: Reinforcing Steel, X-Ray Fluorescence (XRF), Universal Testing Machine (UTM)



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	4
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Material Baja.....	19
2.3 Sifat Mekanik Baja.....	19
2.3.1 Tegangan.....	23
2.3.2 Regangan.....	23
2.3.3 Modulus Elastisitas	23
2.4 Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	23
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	25
3.1 Bagan Alir Penelitian	25
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	26
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.4 Uji Struktur Mikro	26
3.5 Pengujian Karakteristik Mekanis	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil Pengujian Komposisi Logam Menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	34
4.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Menggunakan Alat <i>Universal Testing Machine</i> (UTM)	37
4.3 Korelasi Hasil XRF Dan Uji Tarik Terhadap Kandungan Karbon.....	44
4.4 Pengaruh Kandungan Unsur Logam Terhadap Kuat Tarik Baja Tulangan	43
4.5 Korelasi Hasil XRF Dan Uji Tarik Terhadap Kandungan Karbon.....	49
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
5.3 DAFTAR PUSTAKA	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Uji tatak menggunakan alat UTM (<i>Universal Testing Machine</i>).....	7
Gambar 2. Perbandingan YS dan UTS dengan ASTM dan BS standar	7
Gambar 3. Spesimen uji tarik	9
Gambar 4. Kandungan karbon dari Batang baja tulangan 16, 12 dan 10 mm dibandingkan dengan beberapa standar.....	9
Gambar 5. Kekuatan luluh dari sampel batang baja tulangan, Kekuatan tarik ultimit (UTS) dari baja tulangan dan perpanjangan dari sampel batang baja.....	10
Gambar 6. Nilai kekerasan dari sampel batang baja tulangan dibandingkan dengan beberapa standar.....	11
Gambar 7. Memperlihatkan pola difraksi X-Ray untuk 18 sampel tulangan baja representatif dari berbagai merek.....	14
Gambar 8. Spektrum Sampel.....	16
Gambar 9. Baja tulangan polos	18
Gambar 10. Baja tulangan sirip/ulir	10
Gambar 11. Pertambahan panjang ΔL ketika diberi gaya F.....	22
Gambar 12. Grafik tegangan - regangan	23
Gambar 13. Prinsip kerja XRF	24
Gambar 14. Bagan alir penelitian	25
Gambar 15. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) EDAX	27
Gambar 16. Pemotongan dingin pada sampel	27
Gambar 17. Sampel pengujian XRF.....	28
Gambar 18. Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	28
Gambar 19. Skema Peralatan Uji Kadar Karbon.....	29
Gambar 20. Alat <i>Universal Testing Machine</i> (UTM)	32
Gambar 21. Spesimen uji tarik bentuk <i>round bar</i> berdasarkan ASTM E8	32
Gambar 22. Spektrum S-1	34
Gambar 23. Spektrum S-2	35
Gambar 24. Spektrum S-3	35
Gambar 25. Spektrum S-4	36
Gambar 26. Kandungan unsur Mangan (Mn) pada sampel.....	37
Gambar 27. <i>Setup</i> benda uji pengujian kuat tarik.....	38
Gambar 28. Grafik tegangan – regangan S-1	38
Gambar 29. Grafik tegangan – regangan S-2	39
Gambar 30. Grafik tegangan – regangan S-3	40
Gambar 31. Grafik tegangan – regangan S-4	40
Gambar 32. Grafik tegangan – regangan S-1, S-2, S-3 dan S-4.....	41
Gambar 33. Grafik tegangan-regangan berdasarkan standar A 615-72	42
Gambar 34. Penentuan karbon berdasarkan ASTM A 611-97.....	45
Gambar 35. Penentuan kelas baja tulangan berdasarkan ASTM A 611-97	46
Gambar 36. Pengaruh karbon terhadap kuat tarik baja	48
Gambar 37. Tampak samping daerah putus S-1	49
Gambar 38. Tampak potongan daerah putus S-1	50
Gambar 39. Tampak samping daerah putus S-2.....	51
Gambar 40. Tampak potongan daerah putus S-2	51
Gambar 41. Tampak samping daerah putus S-3.....	52



Gambar 42. Tampak potongan daerah putus S-3 52
Gambar 43. Tampak potongan daerah putus S-3 53
Gambar 44. Tampak potongan daerah putus S-3 54



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ringkasan hasil pengujian mekanis	5
Tabel 2. Variasi frekuensi sampel	6
Tabel 3. Profil komposisi unsur dari 23 sampel tulangan baja dengan merek yang berbeda dengan menggunakan XRF	12
Tabel 4. Komposisi kimia tulangan	16
Tabel 5. Komposisi kimia canai dingin	16
Tabel 6. Komposisi kimia canai galvanis	16
Tabel 7. Komposisi kimia billet baja tulangan kontinyu (<i>Ladle Analysis</i>)	19
Tabel 8. Dimensi spesimen standar ASTM E8-04	33
Tabel 9. Profil komposisi unsur dari 4 sampel tulangan baja	36
Tabel 10. Hasil uji tarik	42
Tabel 11. Daktilitas Baja Tulangan Berdasarkan Grafik Tegangan-Regangan ...	42
Tabel 12. Sifat mekanis baja tulangan SNI 2052:2017	43
Tabel 13. <i>Chemical Requirements</i> ASTM A 611-97	44
Tabel 14. <i>Tensile Requirements</i> ASTM A 611-97	44
Tabel 15. Kesesuaian komposisi kimia dengan ASTM A 611-97	46
Tabel 16. Pengaruh mangan terhadap daktilitas baja tulangan	47
Tabel 17. Pengaruh kandungan unsur terhadap hasil uji tarik	48



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i>
UTM	<i>Universal Testing Machine</i>
UTS	<i>Ultimate Tensile Strength</i>
YS	<i>Yield Strength</i>
F	Gaya
A	Luas penampang
σ	Tegangan
τ	Tegangan geser
P	Beban
ε	Regangan
ΔL	Pertambahan panjang
L0	Panjang awal
L1	Panjang akhir
D0	Diameter awal
D1	Diameter akhir
R	Radius
fu	Tegangan maksimum/ <i>ultimate</i>
fy	Tegangan leleh/luluh
Δ	Daktilitas



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Dokumentasi.....	54
---------------------------	----



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja memiliki sifat kelenturan yang sangat baik menjadikan baja sebagai bahan terbaik sebagai tulangan pada struktur beton bertulang. Penambahan tulangan baja dapat secara efektif memperbaiki kekurangan kekuatan tarik rendah dan kapasitas deformasi beton yang buruk. Karena untuk penambahan tulangan baja, kekuatan tarik dan modulus patah beton bertulang akan meningkat secara signifikan (Peng et al. 2023). Baja tulangan memainkan peran kunci sebagai konstruksi-konstruksi yang sifatnya harus diketahui oleh pengguna sebelum diaplikasikan untuk tujuan desain atau konstruksi (Achamyeleh and Şahin 2019). Pentingnya komposisi baja tulangan yang mempengaruhi daktilitas (keuletan) baja tulangan yang beredar di pasar sangatlah signifikan karena faktor ini berdampak langsung pada kekuatan dan keamanan struktur yang dibangun.

Batang baja tulangan memainkan peran penting sebagai bahan konstruksi, dan dengan demikian, properti itu harus dipastikan sebelum digunakan untuk dukungan struktural untuk mengurangi atau menghilangkan insiden kegagalan bangunan dan struktur. Kegagalan-kegagalan ini telah biasanya mengakibatkan hilangnya nyawa dan harta benda, dengan demikian membuat pemeriksaan dan karakterisasi baja secara teratur baja yang digunakan sebagai tulangan beton menjadi semakin penting (Odusote et al. 2019).

Komposisi baja tulangan yang mempengaruhi daktilitas baja tulangan yang beredar di pasaran sangat relevan untuk dipahami dalam pemilihan dan penggunaan baja tulangan yang diproduksi di Indonesia. Menurut Aghogho et al. (2020), prosedur untuk memperkuat baja tergantung pada komposisi kimianya, sejarah deformasi dan struktur mikro yang dihasilkan. Arti dari daktilitas adalah menunjukkan kemampuannya untuk mempertahankan deformasi plastis tanpa pemborosan dalam jumlah beban yang dipikul (Odaa, Hason, and Sharba 2021).



onteks baja tulangan, daktilitas adalah faktor kunci dalam memastikan bangunan dapat menahan beban dan tekanan yang terjadi selama umur t.

Islam and Rashed (2019), dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa pada dasarnya baja adalah paduan besi dan karbon dimana beberapa elemen lain mungkin ada sebagai pengotor atau elemen paduan (yaitu Fosfor, Belerang, Mangan dan lainnya). Banyak baja yang mengandung jumlah karbon minimum tertentu. Ini tidak berarti bahwa semua baja harus mengandung karbon dalam jumlah besar, pada beberapa baja kandungan karbon sengaja dibuat kecil.

Beberapa penelitian lainnya seperti Hassan et al. (2021); Achamyelah and Şahin (2019); Sy, Keinde, and Bodian (2023); (Carrillo, Lozano, and Arteta 2021) melakukan penelitian tentang sifat kimia dan sifat mekanis baja tulangan di Nigeria, Colombia, Ethiopia, Senegal mengemukakan pendapat yang serupa bahwa penting untuk melakukan evaluasi kualitas baja tulangan yang tersedia secara komersial untuk menentukan kesesuaiannya dengan standar yang berlaku dan juga aplikasi strukturalnya.

Pada suatu analisis mikrostruktural, mekanis, dan elektrokimia dari karbon para peneliti seperti Ishtiaq et al. (2022); Aghogho et al. (2020); Lu et al. (2019) Menyatakan bahwa bertambahnya jumlah karbon maka fraksi volume perlit dalam matriks ferit juga semakin meningkat, yang mana kehadiran ferit dalam struktur mikro akan mempengaruhi nilai kekerasan baja karbon. Kemudian ditemukan juga bahwa dengan meningkatnya konsentrasi karbon dari 0,19 menjadi 0,54 % berat, akan meningkatkan laju korosi karena pembentukan martensit yang tinggi.

Berdasarkan SNI 2052:2017, Desain baja tulangan mengasumsikan bahwa tulangan memiliki diameter dan luas penampang yang sesuai, kuat tarik minimum 525 MPa, dan beberapa perpanjangan (daktilitas) untuk mencegah keruntuhan mendadak. Disebabkan kadar karbon yang sedikit saja telah cukup mengubah besi lunak dan liat menjadi mekanisasi keseluruhan yang lain. Makin tinggi kadar karbon, semakin kuat, semakin keras serta semakin kurang liat. Karena itu pengerjaannya lebih sukar terutama untuk baja dengan kadar karbon 0,3 %. Pengaruh fosfor dari belerang terhadap baja kurang menguntungkan (kegetasan) dan hanya boleh mengandung prosentase yang kecil (sampai sekitar 0,6 %).



ig unsur karbon, baja yang dipadu dengan mangan, vanadium dan silicium nya akan meningkat sedangkan paduan dengan tembaga daya tahan korosi r. Jika tulangan yang tersedia secara komersial dan digunakan dalam

konstruksi berada di bawah asumsi desain ini, maka potensi kegagalan struktur akan sangat tinggi.

Dengan memahami bagaimana komposisi baja tulangan mempengaruhi daktilitas dan kualitas struktur bangunan, para pemangku kepentingan dalam industri konstruksi di Indonesia dapat membuat keputusan yang lebih baik dalam pemilihan dan penggunaan baja tulangan yang diproduksi secara lokal. Ini akan berkontribusi pada keamanan, kehandalan, dan ketahanan bangunan di masa mendatang. Hal ini penting untuk memastikan bahwa struktur yang dibangun menggunakan baja tulangan memenuhi kebutuhan keamanan dan ketahanan jangka panjang. Hal tersebut melatar belakangi peneliti melakukan riset terhadap kandungan unsur baja pada beberapa tulangan yang beredar di Indonesia dengan judul **“Analisis Kandungan Unsur Logam Menggunakan X-Ray Fluorescence Sebagai Penentu Kuat Tarik Baja Tulangan”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi unsur logam dalam baja tulangan yang beredar di Indonesia berdasarkan analisis X-Ray Fluorescence (XRF)?
2. Bagaimana variasi kuat tarik baja tulangan yang beredar di Indonesia berdasarkan uji tarik menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai dengan standar ASTM E8?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi unsur logam terhadap sifat mekanik baja tulangan yang digunakan dalam industri konstruksi di Indonesia?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kandungan unsur logam dalam baja tulangan yang beredar di Indonesia menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF).
2. Mengukur kuat tarik baja tulangan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai dengan standar ASTM E8.



3. Mengkaji pengaruh variasi komposisi unsur logam terhadap sifat mekanik baja tulangan yang digunakan dalam industri konstruksi di Indonesia.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Dengan adanya penelitian ini, maka manfaat yang diharapkan dari hasil riset penelitian yaitu:

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengaruh unsur baja tulangan yang diproduksi di Indonesia.
2. Hasil penelitian ini bermanfaat untuk pemilihan penggunaan baja tulangan yang tepat dalam perancangan bangunan.
3. Menyediakan data dan analisis yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian lebih lanjut mengenai material baja tulangan dan aplikasinya dalam konstruksi.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Berdasarkan tujuan penelitian yang ada, maka penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Material teknik mesin Fakultas teknik Universitas Hasanuddin dan Laboratorium Mikroskop Elektron Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi Institut Teknologi Bandung (ITB).
2. Penelitian ini menggunakan sampel yang beredar di Indonesia dengan kode: S-1, S-2, S-3, S-3, dan S-4.
3. Penelitian ini fokus pada variasi unsur baja tulangan dan pengaruhnya terhadap daktilitas.
4. Penelitian ini menggunakan pengujian tarik dengan mesin UTM yang dilengkapi dengan alat ekstensometer dan menggunakan sampel yang telah dibubut sesuai dengan ketentuan ASTM E8/E8M-13a, dan strain gauge baja.

Uji *X-Ray Fluoresence* (XRF) untuk analisis unsur yang terkandung pada baja tulangan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Achamyelch and Şahin (2019) melakukan penelitian tentang investigasi sifat mekanis baja tulangan dengan studi kasus pada industri konstruksi di Ethiopia. Penelitian ini menyajikan laporan tahunan tentang sifat mekanik tulangan rusuk dari lokasi konstruksi yang diambil proyek-proyek konstruksi yang terjadi di dan sekitar Amhara, Ethiopia. Baik tulangan diimpor maupun yang diproduksi secara lokal digunakan dalam analisis tanpa mempertimbangkan perbedaan kualitas.

Sampel baja kelas 60 atau 460 menurut ASTM A615 dan BS 4449: 1997, masing-masing, dikumpulkan dari berbagai konstruksi proyek yang berbeda oleh kontraktor dan pengawas, secara bersama-sama, berdasarkan perjanjian kontrak mereka. Batang-batang baja tersebut terdiri dari diameter yang berbeda mulai dari 6 hingga 32 mm dipertimbangkan karena sampel ini mewakili batang yang paling banyak digunakan yang paling banyak digunakan dalam penggunaan tulangan beton lokal. Dalam setiap sampel tiga spesimen acak dengan panjang 1000 mm dikumpulkan. Jumlah sampel dari setiap diameter tergantung pada permintaan kontraktor berdasarkan permintaan mereka untuk tulangan tertentu tertentu di lokasi proyek tertentu dan frekuensinya dirangkum dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Ringkasan hasil pengujian mekanis

Diameter (mm)	Tegangan leleh rata- rata (Mpa)	Tegangan tarik maksimum rata-rata (Mpa)	Regangan rata-rata	Rata-rata Massa/panjang (Kg/m)
8	629.9317	746.8476	13.5729	0.3895
10	607.9332	696.5025	13.6740	0.6114
12	562.8613	678.6960	15.9263	0.8768
	566.3677	682.1277	16.2871	1.5541

pengujian dilakukan di Laboratorium Pengujian Material dari Jurusan Teknik Universitas Debre Tabor sesuai dengan ketentuan ASTM E8/E8M-13a.

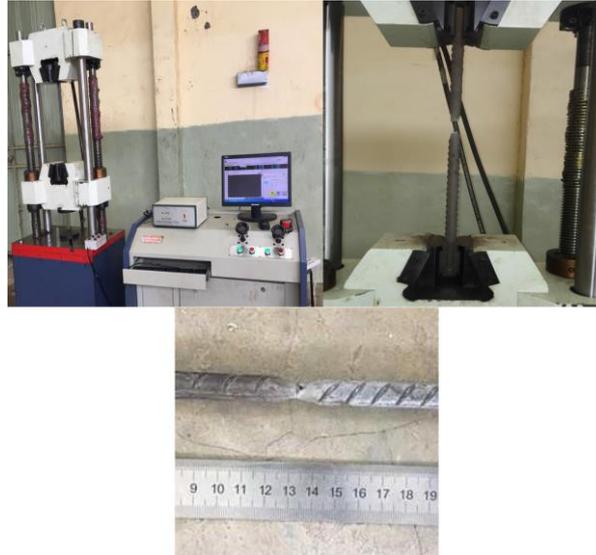


Kapasitas mesin uji tarik berkisar antara 6 hingga 32 mm sampel berdiameter. Gaya maksimum yang mungkin diterapkan dari mesin adalah 300KN tetapi dikalibrasi hingga 250KN. 5000KN Load Cell yang diproduksi oleh MATEST dengan Model C140-09 digunakan. Perpanjangan sampel baja diukur dengan menggunakan panjang sampel asli dan panjang akhir di patah. Hasil uji tarik diperlukan untuk perhitungan dari karakteristik kekuatan tarik, kekuatan luluh serta sifat keuletan. Total 224 percobaan dilakukan dengan tiga set sampel untuk setiap tulangan dengan diameter 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24, 30 dan 32 mm menggunakan Mesin Uji Universal dan Foto spesimen selama uji tarik dan patahan spesimen disajikan ppada **Gambar 1**. Rangkuman frekuensi dari pengujian dirangkum dalam **Tabel 2**. Makalah ini difokuskan hanya dengan tulangan berdiameter 8, 10, 12 dan 16 mm yang mencakup 67% dari total pengujian. Rata-rata nilai YS, UTS, perpanjangan dan massa per panjang untuk semua pengujian di setiap diameter ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 2. Variasi frekuensi sampel

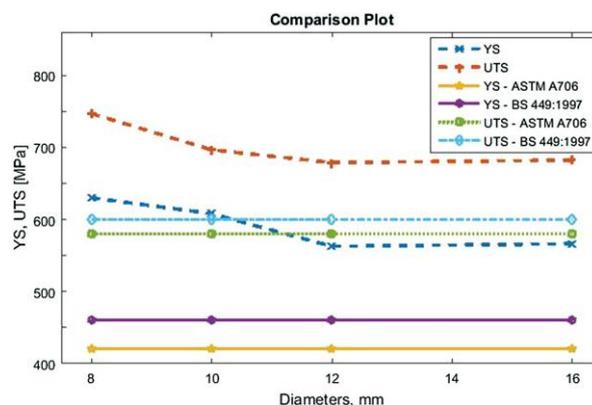
Diameter (mm)	Frekuensi (no)	Presentasi (%)	Kumulatif
10	44	19.64	19.64
12	40	17.86	37.50
8	37	16.52	54.02
16	31	13.84	67.85
14	26	11.61	100
20	24	10.71	
32	8	3.57	
24	7	3.13	
30	6	3	
6	4	1.79	





Gambar 1. Uji tarik menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*)

Sifat mekanis dari tulangan penguat dari lokasi konstruksi yang diambil dari impor dan lokal tulangan impor diselidiki dan dibandingkan dengan dengan standar BS dan ASTM. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai rata-rata UTS dan YS dari semua diameter 8, 10 12, dan 16 mm ditemukan di atas standar nilai yang ditetapkan oleh BS 449, dan ASTM A706. Selain itu, nilai rata-rata persen perpanjangan (%) dari 8, 10, 12 dan 16 mm diameter re-bar melampaui nilai standar yang ditetapkan oleh BS 449, dan ASTM A706. 8, 10, 12 dan 16 mm diameter re-bar sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh ASTM dan BS untuk penggunaan yang dimaksudkan.



mbar 2. Perbandingan YS dan UTS dengan ASTM dan BS standar



Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai rata-rata UTS dan YS dari semua diameter 8, 10, 12, dan 16 mm ditemukan di atas standar nilai yang ditetapkan oleh BS 449, dan ASTM A706. Selain itu, nilai rata-rata persen perpanjangan (%) dari 8, 10, 12 dan 16 mm diameter re-bar melampaui nilai standar yang ditetapkan oleh BS 449, dan ASTM A706. 8, 10, 12 dan 16 mm diameter re-bar sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh ASTM dan BS untuk penggunaan yang dimaksudkan. Berbeda dengan di atas, nilai nilai rata-rata massa per panjang dari semua sampel ditemukan berada di bawah nilai standar yang ditetapkan oleh ASTM. Lebih lanjut, diindikasikan bahwa tulangan tulangan 6, 14, 20, 24, 30 dan 32 mm tidak digunakan terlalu banyak, sebaliknya diameter batang 8, 10 dan 12 mm harus ditawarkan untuk lebih lanjut investigasi dan penggunaan dalam industri konstruksi. Akan tetapi tulangan yang diperkuat tampak serupa untuk perpanjangan persentase.

Oduote et al. (2019) melakukan penelitian sifat kimia dan mekanik batang baja tulangan dari pabrik baja lokal. Di Nigeria, karena kejadian runtuhnya bangunan yang tak henti-hentinya kejadian keruntuhan bangunan, penting untuk dilakukan lebih lanjut. Penelitian ini menyelidiki lebih lanjut beberapa sifat mekanik dan kimia dari tulangan baja, tulangan yang diproduksi dari besi tua untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar yang disyaratkan.

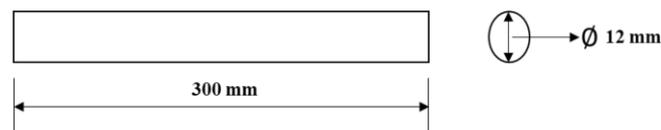
Batang baja tulangan yang diproduksi secara lokal dari delapan pabrik baja yang berbeda diperoleh dari pasar baja lokal di Negara Bagian Lagos, Nigeria. Batang-batang baja tersebut diidentifikasi dengan menggunakan identifikasi dan klasifikasi Standard Organization identifikasi dan klasifikasi Organisasi Standar Nigeria (SON) tanda [14]. Tiga diameter (10, 12 dan 16 mm) dari tulangan baja tulangan dipilih dari masing-masing delapan pabrik baja sehingga jumlah total sampel yang digunakan untuk penelitian ini menjadi dua puluh empat. Masing-masing sampel diberi kode berdasarkan pabrik baja (A, B, C-H) dan diameter sampel, R (10, 12 dan 16 mm).

Metode pertama yang digunakan yaitu pengujian komposisi kimia, analisis kimia dilakukan dengan menggunakan optik spektrometer emisi optik (LMF06, ri 15007384). Sampel berdiameter 16 mm disiapkan agar sesuai dengan standar berdiameter 15 mm dari cakram tungsten karbida untuk dipasang in. Namun, semakin kecil diameter (sampel 10 dan 12 mm) dimasukkan

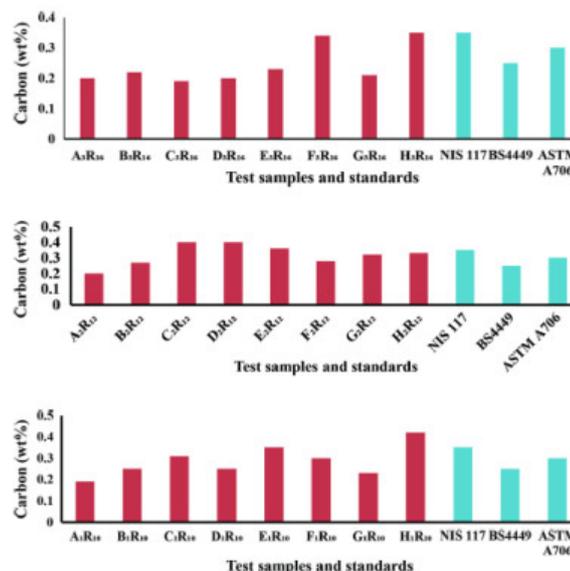


ke dalam disk tungsten karbida yang dilengkapi dengan diameter 10 dan 12 mm lubang. Sampel digiling dan kemudian dipoles untuk menghasilkan permukaan yang halus dan rata yang bebas dari kontaminan sebelum dipasang pada mesin. Pengujian dilakukan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh NIS. Persentase unsur rata-rata menurut berat (% berat) dari sampel ditampilkan pada monitor yang terhubung ke peralatan.

Metode kedua yaitu uji tarik, setiap sampel uji dipotong dengan rapi menjadi tiga spesimen 300 mm masing-masing untuk tiga ukuran sampel seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik universal Instron Satec Seri 600 DX mesin uji tarik universal dengan kapasitas sebesar 600 kN. Spesimen dipasang pada mesin uji tarik mesin dan mengalami pembebanan tarik terus menerus pada kecepatan 10 mm/menit sampai titik patah. Untuk lebih baik keandalan hasil, pengujian diulang tiga kali dan nilai rata-rata dicatat.



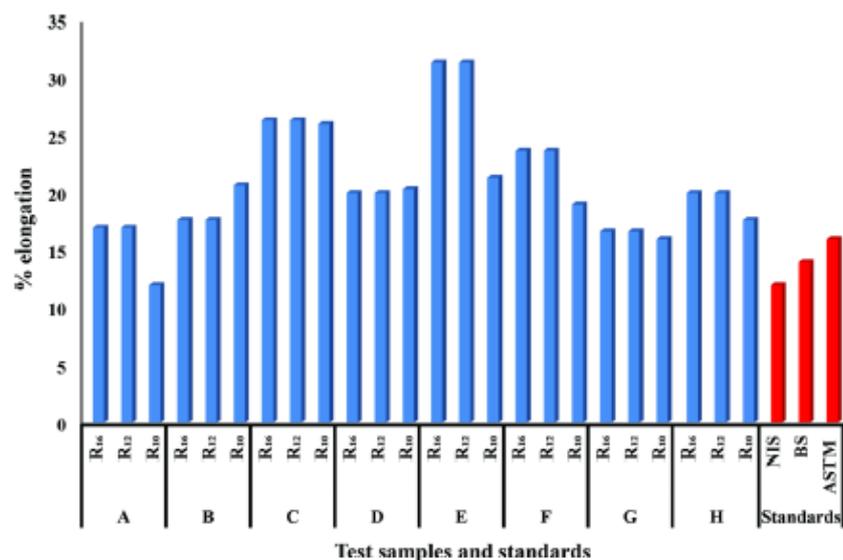
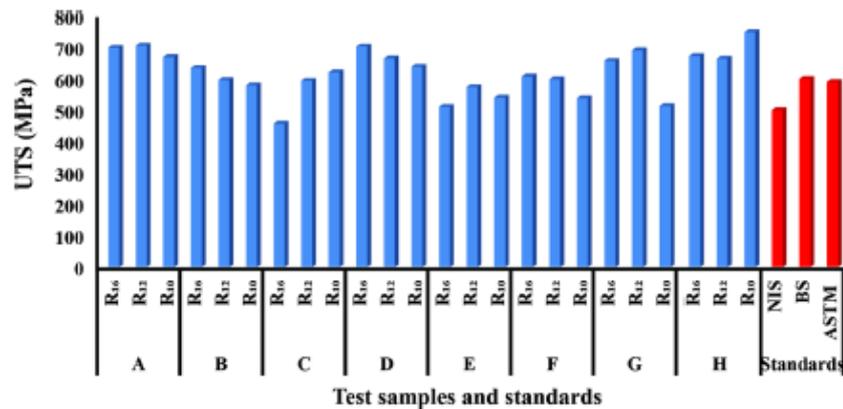
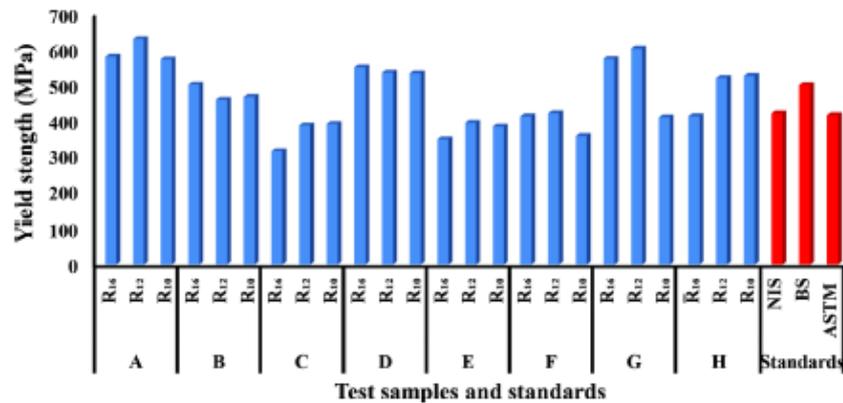
Gambar 3. Spesimen uji tarik



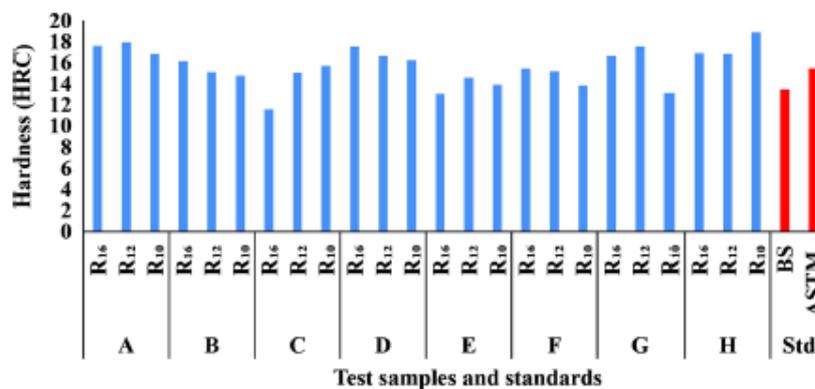
Gambar 4. Kandungan karbon dari Batang baja tulangan 16, 12 dan 10 mm dibandingkan dengan beberapa standar



Hasil dari pengujian tarik baja ditampilkan dalam bentuk grafik pada **Gambar 5**. Dan **Gambar 6**. Sebagai berikut



ar 5. Kekuatan luluh dari sampel batang baja tulangan, Kekuatan tarik it (UTS) dari baja tulangan dan perpanjangan dari sampel batang baja



Gambar 6. Nilai kekerasan dari sampel batang baja tulangan dibandingkan dengan beberapa standar

Kesimpulan yang didapat, sifat kimia dan mekanik tulangan tulangan baja tulangan dari pabrik baja lokal telah diteliti. Analisis kimia menunjukkan bahwa ada tiga puluh satu (31) elemen utama, residu dan perusak yang ada di dalamnya tulangan baja tulangan. Variasi dalam kandungan karbon juga seperti mangan, silikon, belerang dan fosfor memiliki variasi berdampak pada sifat mekanik tulangan batang. Hasil investigasi juga mengungkapkan bahwa beberapa sampel memiliki kekuatan luluh yang melampaui spesifikasi standar yang direkomendasikan dan dapat berguna untuk tujuan struktural/konstruksi. Kesimpulannya, sebagian besar batang baja memenuhi semua standar dalam hal kekuatan luluh, nilai keuletan dan kekerasan kekuatan tarik utama dan dengan demikian dapat digunakan untuk aplikasi struktural.

Karar and Jain (2024) melakukan penelitian memeriksa kualitas baja dan pengulangan dalam struktur mikro dengan menggunakan kombinasi difraksi *X-Ray Diffraction* (XRD) dan metodologi analisis data Spektral Raman¹. Di sini, kami membahas kasus tulangan baja. Kami mempertimbangkan 23 merek tulangan baja yang berbeda dari seluruh India. Kami melakukan perbandingan antar komposisi kimia unsurnya menggunakan data *X-Ray Fluorescence* (XRF), mengamati sifat kristalnya menggunakan pola difraksi sinar-X. *X-Ray Diffraction* (XRD), nilai peak

at half maximum (FWHM).

a puluh tiga sampel baru dan segar dari berbagai merek tulangan baja India anakan dalam industri konstruksi teknik sipil dikumpulkan dari berbagai



lokasi konstruksi dan pengecer di berbagai wilayah negara, yang mencakup sebagian besar merek regional dan nasional utama. Penampang melintang dipotong untuk mendapatkan permukaan yang baru. Data diperiksa dan dibandingkan dengan mengulangi pengukuran. Sampel juga diperiksa dalam kondisi dipoles dan apa adanya. Anonimitas merek harus dijaga. Setiap merek harus dirujuk dengan kode yang ditetapkan, masing-masing R-1 hingga R-23.

Tabel 3. Profil komposisi unsur dari 23 sampel tulangan baja dengan merek yang berbeda dengan menggunakan XRF

Sampel	XRF Based Composition (wt%)							
	Fe	C	O&N	Si	Al	P	S	Cl
R-1	100	0	0	0				
R-2	72.56	3.64	23.30	0.50				
R-3	57.65	6.82	33.62	0.25	0.70	0.02	0.07	0.16
R-4	100							
R-5	100							
R-6	94.52			4.17				
R-7	94.04	5.96						
R-8	92.89	6.53						
R-9	89.71			5.56	2.80			
R-10	61.94	10.73	25.64	0.26	0.07	0.03	0.06	0.05
R-11	90.55	2.98	5.16	0.36	0.11	0.01	0.04	
R-12	46.98	5.48	45.76	0.11	0.08	0.28	0.03	0.13
R-13	99.38			0.62				
R-14	75.02	4.22	18.99	0.31	0.11	0.04	0.10	0.12
R-15	100							
R-16	100							
R-17	88.75	11.25						
R-18	60.19	11.32	26.83	0.32	0.07	0.02	0.06	0.12
	43.28	4.92	41.09	3.18	1.36	0.02	0.23	0.16
	67.37	8.23	23.05					

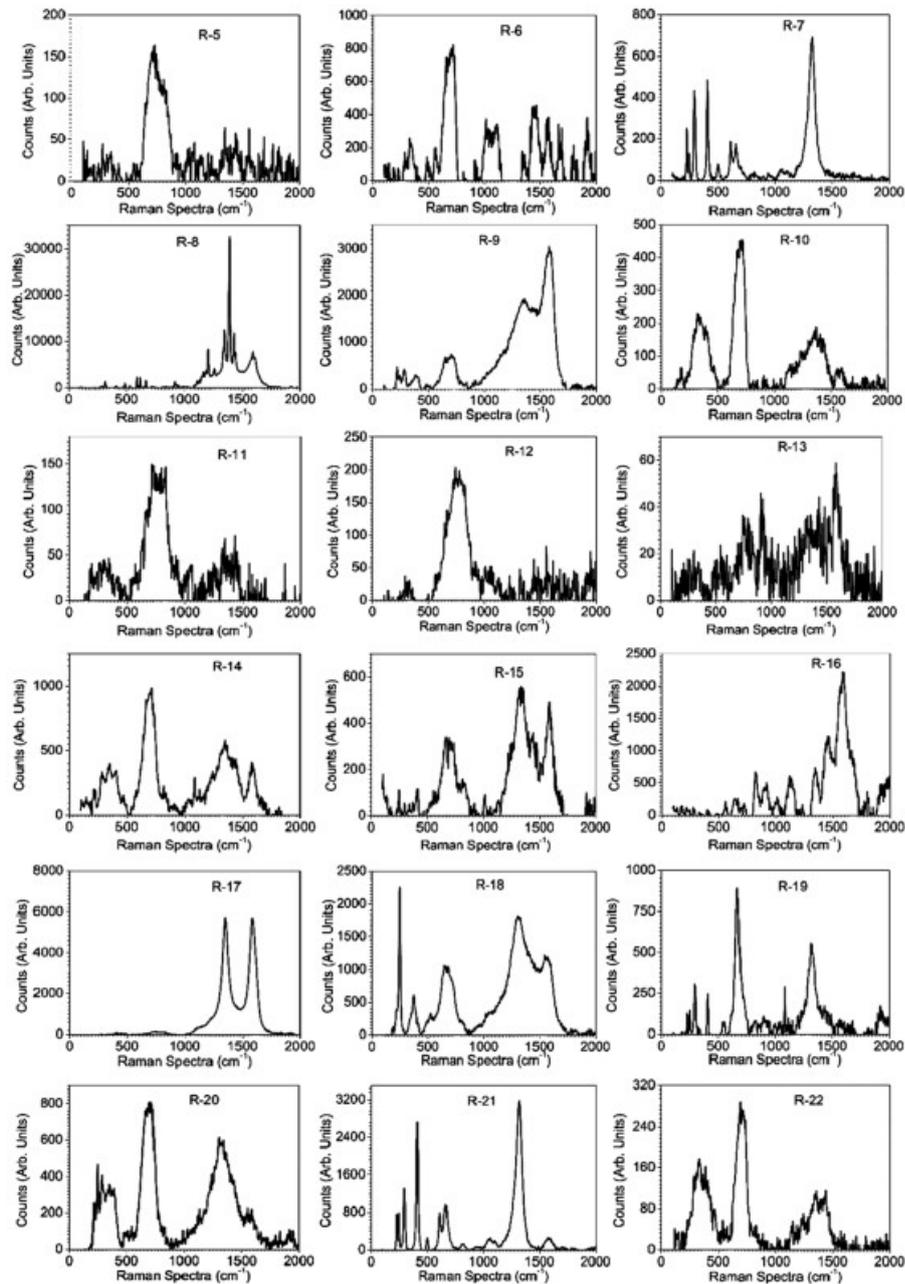


R-21	64.33	6.50	26.57	0.61	0.48	0.07	0.11	0.08
R-22	59.40	4.57	35.07	0.20	0.07	0.05	0.07	0.02
R-23	89.75			3.90	0.99		1.73	1.12

Sampel	XRF Based Composition (wt%)							
	K/Na	Ca	Cr	Mn	Ni	Cu	Mo	Mg
R-1								
R-2								
R-3	0.02	0.13	0.16	0.26	0.06	0.06	0.02	
R-4								
R-5								
R-6		1.31						
R-7								
R-8		0.58						
R-9		1.93						
R-10	0.74	0.13	0.02	0.25		0.06	0.02	
R-11	0.02	0.05		0.72				
R-12	0.47	0.13		0.43		0.03		0.09
R-13								
R-14	0.49	0.03	0.09	0.26	0.09	0.12	0.02	
R-15								
R-16								
R-17								
R-18	0.28	0.43	0.09	0.22		0.04	0.01	
R-19	0.76	3.89		0.51				0.60
R-20				1.35				
R-21	0.31	0.28		0.45				0.21
R-22	0.05	0.05	0.04	0.35			0.02	0.05
R-23		2.51						



...n hasil dari pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk 18 dari 23 sampel ...
...an dipaparkan menggunakan grafik pada **Gambar 7.** dibawah ini



Gambar 7. Memperlihatkan pola difraksi X-Ray untuk 18 sampel tulangan baja representatif dari berbagai merek



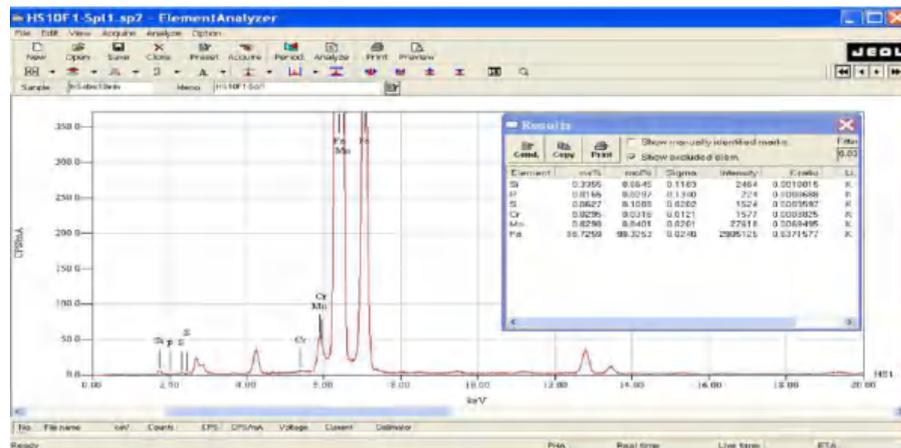
di 23 merek tulangan baja yang berbeda, masing-masing memiliki komposisi kimia yang berbeda. Kami melakukan perbandingan antar komposisi

kimia unsurnya menggunakan data *X-Ray Fluorescence* (XRF), mengamati sifat kristalnya menggunakan pola difraksi sinar-X. *X-Ray Diffraction* (XRD), nilai peak full width at half maximum (FWHM). Mikrograf etsa basah dari penampang lintangnya dibandingkan untuk menunjukkan tingkat variasi. Meskipun data XRD dari sampel-sampel ini serupa, mikrograf etsa basah bersama dengan data spektral Raman sangat bervariasi dari satu merek ke merek lainnya. Efek halida, oksigen, pengotor nitrogen pada korosi jangka panjang dan degradasi tulangan juga dibahas. Disarankan bahwa konvergensi yang lebih baik dari data spektral Raman untuk semua merek tulangan baja beserta nilai FWHM-nya akan mereplikasi gambar mikrostruktural yang serupa di semua merek dan dengan demikian akan memastikan formulasi yang lebih baik untuk standar kualitas yang seragam di semua merek dan memastikan umur panjang yang lebih tinggi pada struktur teknik sipil yang terkait, tanpa memandang mereknya.

Al-Eshaikh and Kadachi (2011) melakukan penelitian komposisi unsur produk baja yang diproduksi oleh perusahaan paling populer di Arab Saudi. Analisis yang dilakukan oleh lembaga independen ini bertujuan untuk memberikan informasi yang berguna bagi konsumen dan membantu perusahaan manufaktur dalam meningkatkan kualitas produk akhir baja mereka. Penelitian ini menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk menentukan komposisi unsur produk baja panjang dan datar yang diproduksi oleh perusahaan lokal.

Beberapa produk panjang seperti batang tulangan beton dan batang kawat dianalisis menggunakan teknik XRF untuk mengetahui komposisi unsurnya. Beberapa produk datar seperti gulungan dan kumparan galvanis juga dianalisis. Produk-produk ini digunakan dalam konstruksi bangunan dan di banyak bidang industri untuk memproduksi berbagai barang dan peralatan. Sampel dari masing-masing produk baja di atas dikumpulkan dari pasar lokal Arab Saudi. Persiapan sampel merupakan langkah penting yang dapat mempengaruhi ketepatan dan keakuratan analisis XRF. Oleh karena itu, setidaknya ada dua syarat yang harus dipenuhi, yang pertama adalah sampel harus mewakili keseluruhan material dan kedua adalah permukaan sampel harus halus untuk mengurangi difraksi sinar.





Gambar 8. Spektrum Sampel

Tabel 4. Komposisi kimia tulangan

Kesesuaian Komposisi Kimia Tulangan						
Elemen						
	C	Si	P	S	Kr	Mn
Diklaim nilai – nilai maks.	0.24	0.23	0.05	0.05	0.3	0.7

Tabel 5. Komposisi kimia canai dingin

Kesesuaian Komposisi Kimia Kumparan Canai Dingin				
Elemen				
	C	P	S	Mn
Diklaim nilai – nilai maks.	0.27	0.035	0.035	0.90

Tabel 6. Komposisi kimia galvanis

Kesesuaian Komposisi Kimia Kumparan Galvanis				
Elemen				
	C	P	S	Mn
Diklaim nilai – nilai maks.	0.15	0.03	0.035	0.60



sil dari penelitian menunjukkan bahwa komposisi kimia dari produk baja bertipe gulungan canai dan gulungan galvanis menunjukkan kesesuaian spesifikasi yang diklaim oleh pabrikan, kecuali kandungan belerang pada canai dingin yang sedikit lebih tinggi. Penelitian ini juga menyimpulkan

bahwa teknik XRF yang digunakan efektif dalam menentukan komposisi kimia produk baja, memberikan hasil yang cepat, akurat, dan tidak merusak dengan batas deteksi yang sangat rendah untuk sebagian besar elemen.

2.2 Material Baja

Baja adalah bahan logam kompleks yang paling banyak diterima dan berasal dari besi yang kaya akan besi. Besi yang paling banyak digunakan saat ini di dunia industri adalah baja karbon biasa. Industri (yaitu, bangunan, konstruksi, dll), struktur modern, arsitektur dan desain, dan pabrik manufaktur sebagian besar bergantung pada produk berbasis baja karbon biasa. Baja bukanlah sesuatu yang mudah untuk didefinisikan karena mengandung variasi bahan, paduan yang menyerupai namanya. Baja pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon di mana beberapa elemen lain dapat hadir sebagai pengotor atau unsur paduan (yaitu, Fosfor, Belerang, Mangan, dll.) Dengan kata lain, baja adalah paduan besi kristal, karbon dan beberapa elemen lainnya, tetapi harus diingat bahwa bahan, di mana besi adalah penyusun utama bukan baja. Banyak baja yang mengandung jumlah karbon minimum yang ditentukan, ini tidak berarti bahwa semua baja harus mengandung karbon dalam jumlah besar; pada beberapa baja, kandungan karbon sengaja dibuat kecil, dan penambahan paduan mengurangi jumlah larutan karbon yang memiliki kecenderungan kuat untuk digabungkan dengan karbohidrat untuk membentuk karbida (Islam and Rashed 2019).

Di bawah ambang batas karbon 2%, baja karbon dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori: karbon rendah, sedang, dan tinggi. Masing-masing jenis mempertahankan kekuatan karbon yang melekat, namun kegunaannya akan berubah seiring dengan meningkatnya kandungan karbon. Baja karbon mengandung sejumlah kecil unsur paduan dan menyumbang 90% dari total produksi baja. Baja karbon selanjutnya dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok tergantung pada kandungan karbonnya:

1. Baja karbon rendah/baja ringan mengandung karbon hingga 0,3%
 Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3-0,6%
 Baja karbon tinggi mengandung karbon lebih dari 0,6%



Menurut standar baja tulangan beton Indonesia yaitu SNI 2052:2017, Baja tulangan beton adalah baja karbon atau baja paduan yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip/ulir dan digunakan untuk penulangan beton. Baja ini diproduksi dari bahan baku billet dengan cara canai panas (hot rolling).



Gambar 9. Baja tulangan polos



Gambar 10. Baja tulangan sirip/ulir

Di antara Di antara sekian banyak manfaatnya, baja sangat membantu sebagai tulangan penguat (rebar) pada beton karena sifat keuletannya yang baik (perpanjangan dan lentur) pada suhu tinggi (yaitu, koefisien muai panas) yang kurang lebih sama dengan beton dan turunannya. Produksi baja modern menggunakan bahan daur ulang dan memadukan bahan baku tradisional seperti , batu kapur, besi, dan bijih [5] untuk mempromosikan agenda hijau dan itan kembali sumber daya tak terbarukan secara berkelanjutan (Assiamah 3)



Berdasarkan SNI 2052:2017 Kandungan Kandungan unsur maksimum yang terdapat dalam baja tulangan sesuai kelasnya telah ditetapkan seperti yang diperlihatkan dalam **Tabel 7**.

Tabel 7. Komposisi kimia billet baja tulangan kontinyu (*Ladle Analysis*)

Kelas baja tulangan	Kandungan Unsur Maksimum (%)					
	C	Si	Mn	P	S	C _{Eq} *
BjTP 280	-	-	-	0,050	0,050	-
BjTS 280	-	-	-	0,050	0,050	-
BjTS 420A	0,32	0,55	1,65	0,050	0,050	0,60
BjTS 420B	0,32	0,55	1,65	0,050	0,050	0,60
BjTS 520	0,35	0,55	1,65	0,050	0,050	0,625
BjTS 550	0,35	0,55	1,65	0,050	0,050	0,625
BjTS 700**	0,35	0,55	1,65	0,050	0,050	0,625

2.3 Sifat Mekanik Baja

Setiap material memiliki sifat mekanik yang berbeda-beda. Untuk dapat mengetahui sifat mekanik dari suatu material maka diperlukan suatu pengujian, salah satu pengujian yang paling sering dilakukan adalah uji tarik (*tensile test*). Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu material dan untuk mengenali karakteristik pada material tersebut.

Pengujian tarik adalah metode yang populer untuk mempelajari kekuatan mekanik bahan. Dengan menerapkan gaya pada material dalam satu arah sampai bahan rusak. Secara umum, ini untuk memisahkan benda kerja dengan gaya aksial yang sama, dan pelajari perubahan pada benda kerja. Jika tarik kekuatan material lebih rendah dari kekuatan tarik maksimumnya, itu menyebabkan deformasi permanen pada material. Bahan yang mempertahankan sifat peregangan dan

n, seperti elastomer dan spiral. Sampel yang akan diuji dapat berupa bahan atau produk jadi. Kedua ujungnya benda kerja dijepit oleh penjepit di kedua gaya diterapkan. (Ketegangan atau tekanan) dengan kecepatan konstan dan



membaca nilai gaya dari sel beban yang terhubung ke pegangan benda kerja. Data yang diperoleh bisa dapat dibuat grafik untuk menunjukkan hubungan antara biaya tenaga kerja dan perpanjangan. atau tegangan terhadap regangan (Chudjuarjeen and Chakkuchan 2023).

Baja sebagai bahan konstruksi bangunan mempunyai beberapa sifat fisik dan mekanis. Berikut ini beberapa sifat mekanik yang dimiliki oleh baja meliputi:

1. Kerapuhan Baja

Sifat penting pada baja adalah kuat tarik. Oleh karena daya tarik baja yang kuat maka baja dapat menahan berbagai tegangan, sehingga tingkat kerapuhan pada baja sangat rendah.

2. Kekerasan Baja

Kekerasan baja adalah ketahanan baja terhadap besarnya gaya yang dapat menembus permukaan baja. Baja itu sangat keras sekali sehingga banyak digunakan sebagai bahan konstruksi. Tingkat kekerasan yang tinggi sangat penting untuk benda-benda tertentu yang dibuat dari baja.

3. Keuletan (Kemudahan Berubah) Baja

Keuletan baja merupakan kemampuan baja untuk berdeformasi sebelum baja putus. Keuletan ini berhubungan dengan besarnya regangan/strain yang permanen sebelum baja putus. Pada umumnya baja bersifat sangat alot, sehingga tidak cepat patah.

4. Keteguhan Baja

Keteguhan baja adalah hubungan antara jumlah energi yang dapat diserap oleh baja sampai baja tersebut putus. Semakin kecil energi yang diserap oleh baja, maka baja tersebut makin rapuh dan makin kecil keteguhannya.

5. Kelelahan Baja

Tingkat kelelahan pada baja terbilang cukup rendah dikarenakan baja memiliki sifat daya tarik yang sangat kuat dan tingkat kekerasan yang tinggi sehingga terjadinya kegagalan (patah) pada komponen akibat beban dinamis akan memakan waktu yang cukup lama.



2.3.1 Tegangan

Tegangan merupakan besaran yang mengacu pada seberapa besar gaya deformasi yang diterapkan per satuan luas suatu benda. Tegangan adalah pengukuran gaya (F) yaitu reaksi yang timbul dari dalam material persatuan luas (A). Tegangan atau stress dapat dikelompokkan menjadi:

1. Tegangan Normal

Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan (σ). Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Gaya-gaya seperti itu disebut gaya aksial, dan tegangan yang timbul dikenal sebagai tegangan aksial. Untuk mendapatkan nilai tegangan normal digunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

2. Tegangan Tarik

Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.

3. Tegangan Geser

Tegangan geser adalah tegangan yang diakibatkan oleh gaya yang arahnya sejajar dengan luasan permukaan (gaya tangsial). A adalah luas penampang yang menahan beban P. Tegangan yang terjadi pada luasan A disebut tegangan geser (τ).

2.3.2 Regangan

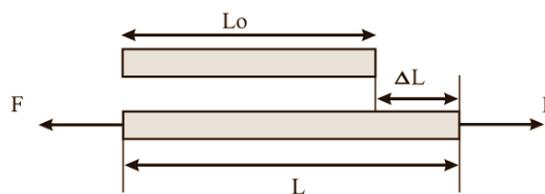


Regangan adalah perubahan ukuran dari panjang awal sebagai hasil dari gaya tarik atau menekan pada material. Batasan sifat elastis perbandingan regangan akan linier dan akan berakhir pada titik mulur. hubungan

tegangan tegangan tidak lagi linier ketika material mencapai batas sifat plastis. Rumus untuk memperoleh satuan deformasi atau regangan yaitu dengan membagi perpanjangan ($L-L_0$) dengan panjang material awal (L_0) (Nur Arini and Pradana 2021). Untuk mendapatkan nilai regangan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Regangan juga dapat dikatakan sebagai tingkat deformasi. Deformasi terjadi bila material mengalami gaya ataupun reaksi terhadapnya. Deformasi ada dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Yang dimaksud deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban dihilangkan, maka material akan kembali ke ukuran semula. Sedangkan deformasi plastis didefinisikan deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas.



Gambar 11. Pertambahan panjang ΔL ketika diberi gaya F

2.3.3 Modulus Elastisitas

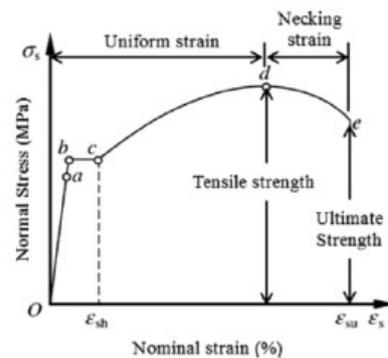
Modulus elastis, adalah sifat dasar material yang mengukur kekakuan atau ketahanannya terhadap deformasi elastis akibat tekanan. Properti ini penting dalam ilmu teknik dan material, karena menentukan kemampuan material untuk mendukung beban dan mempertahankan bentuknya. Modulus elastisitas dinyatakan sebagai gaya per satuan luas dengan satuan pascal (Pa) atau pound per inci persegi (psi). Modulus elastisitas ditentukan dengan menghitung kemiringan bagian elastis kurva tegangan-regangan. Modulus elastisitas berbeda untuk bahan yang berbeda. Bahan yang lebih kaku mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas digunakan rumus sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Modulus elastisitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu material menahan deformasi elastis ketika tegangan diterapkan padanya. Ini adalah



ukuran kekakuan atau kekakuan suatu material. Modulus elastisitas, dalam bentuk kurva tegangan-regangan, adalah kemiringan kurva tegangan-regangan pada daerah elastis. Modulus elastisitas diukur dalam Pascal (Pa), satuan yang sama yang digunakan untuk tegangan. MPa dan GPa biasanya digunakan untuk menyatakan modulus elastisitas karena besarnya nilai tipikalnya.



Gambar 12. Grafik tegangan – regangan

Kurva menunjukkan bagian elastis linier awal pada titik a. Pada segmen ab, regangan meningkat sedikit lebih cepat dari pada tegangan. Setelah titik b, regangan meningkat dengan sedikit atau tanpa peningkatan tegangan, hingga kurva memanjang horizontal ke titik c, disebut dataran luluh. Setelah titik c, tegangan kembali meningkat dengan regangan hingga titik d, yang merupakan kekuatan ultimate batang baja. Setelah titik d, regangan meningkat cepat dengan pengurangan luas penampang, hingga patah terjadi pada titik e (Achamyelah and Sahin 2019).

2.4 Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence adalah suatu teknik analisa nondestruktif yang digunakan untuk identifikasi dan penentuan konsentrasi elemen yang ada pada serbuk, padatan, ataupun sampel dalam bentuk cair. XRF mampu mengukur elemen mulai dari berilium (Be) hingga Uranium (U) pada level trace element, bahkan level ppm. XRF merupakan salah satu metode analisis yang tidak merusak bahan dan digunakan untuk analisis unsur suatu bahan secara kualitatif titatif. Analisis kualitatif digunakan untuk memberikan informasi jenis

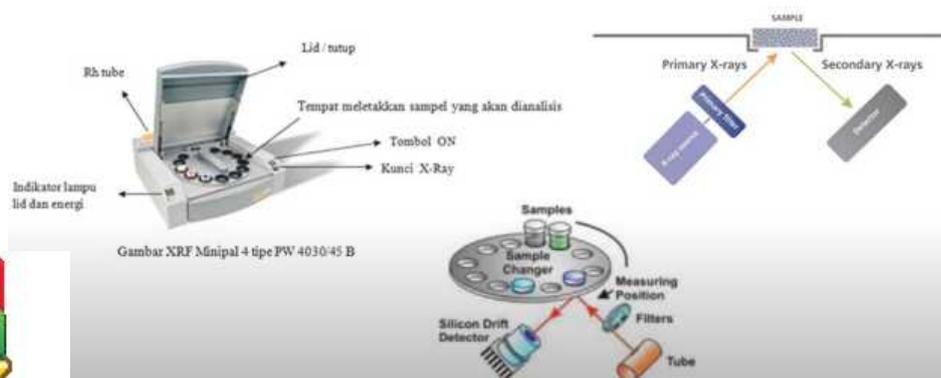


unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan dengan adanya spektrum unsur pada energi sinar-x. Sedangkan analisis kuantitatif digunakan untuk memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung ditunjukkan oleh ketinggian spektrum (Hamid, Nawi, and Singarimbun n.d. 2019).

Spektrometri XRF sangat berharga karena kemampuannya untuk secara cepat memberikan penilaian resolusi tinggi variasi relatif dari sebagian besar komposisi unsur bumi *Spektrometri XRF* didasarkan pada prinsip dispersif-panjang gelombang, yang menyatakan bahwa atom-atom individu memancarkan foton sinar-X dalam jumlah yang relatif melimpah energi atau fitur panjang gelombang yang dapat diperkirakan (Oyedotun 2018).

Prinsip kerja XRF

1. Dengan menembakkan sinar radiasi foton elektromagnetik ke material yang diteliti,
2. Kemudian radiasi elektromagnetik tersebut akan berinteraksi dengan elektron yang berada dikulit K suatu unsur,
3. Elektron yang berada dikulit K akan memiliki energi kinetik yang cukup untuk melepaskan diri dari ikatan inti sehingga elektron tersebut akan terpental keluar, peristiwa ini menghasilkan energi berupa sinar-X baru dari sampel yang dianalisis yang disebut sinar-X karakteristik.
4. Untuk setiap atom didalam sampel intensitas sinar-X karakteristik tersebut sebanding dengan konsentrasi atom didalam sampel, intensitas sinar-X karakteristik dari setiap unsur kemudian dibandingkan dengan suatu standar yang diketahui konsentrasinya sehingga konsentrasi unsur dalam sampel dapat ditentukan.



Gambar 13. Prinsip kerja XRF

